

2. Голованов А. И., Сагдатуллин М. К. *Трёхмерный конечный элемент для расчета тонкостенных конструкций* // Ученые записки Казанск. гос. ун-та. Серия физ.-мат. наук. – Казань, 2009. – Т. 151. – Кн. 3. – С. 121–129.

3. Савула Я. Г., Дыяк И. И. *Применение комбинированной модели для расчета напряженно-деформированного состояния пространственных конструкций* // Прикладная механика. – 1989. – Т. 25. – № 9. – С. 62–67.

4. Karan S., Surana. *Transition finite elements for three-dimensional stress analysis* // Int. J. Numer. Meth. Eng. – 1980. – V. 15. – No 7. – С. 991–1020.

5. Karan S., Surana. *Three dimensional solid-shell transition finite elements for heat conduction* // Comput. and Struct. – 1987. – V. 26. – No 6. – С. 941–950.

А. А. Саламатин

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Arthouse131@rambler.ru*

ОПТИМАЛЬНАЯ УПАКОВКА ЧАСТИЦ В ПРОЦЕССЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ФЛЮИДНОЙ ЭКСТРАКЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕЕ СВОЙСТВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ СУЖАЮЩЕГОСЯ ЯДРА

В последнее время сверхкритическая флюидная экстракция (СФЭ) привлекает все больший интерес как более дешевый и экологически менее вредный способ добычи ценных фракций масла из молотого растительного сырья. Все более актуальными становятся вопросы оптимизации процесса СФЭ.

Применение модели сужающегося ядра [1, 2] к исследованию СФЭ показало, что она в целом верно описывает динамику извлечения масла. В безразмерных переменных эта модель сводится к системе двух ДУЧП относительно неизвестных функций $s(t, z, a)$ и $c(t, z)$ – доли экстрагированного масла из частицы размера a и концентрации масла, растворенного в потоке экстрагента, омывающего частицы засыпки

$$\frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial t} \int_0^\infty s \chi(a, z) da \quad \frac{\partial s}{\partial t} = \frac{d(s)}{a^2} (1 - c),$$

где t, z – время и пространственная координата, отсчитываемая от входного сечения аппарата, а $d(s)$ – интегральный диффузионный коэффициент, определяемый формой молотых гранул.

Функция $\chi(a, z)$, описывающая способ упаковки частиц в аппарат, рассматривалась как параметр оптимизации. В результате решения оптимизационной задачи по определению оптимальной упаковки с ограничением, выражающим сохранение числа частиц заданного размера, было показано, что локально монодисперсная стратифицированная (ЛМС) упаковка является оптимальной – она среди всех возможных способов упаковки максимизирует долю экстрагированного масла в каждый момент времени и вырабатывается за минимальное время. Формально эта упаковка определяется условием

$$\chi(z, a) = \delta(a - F^{-1}(1 - z)),$$

где через δ обозначена дельта функция Дирака, а F^{-1} – функция, обратная к функции объемного распределения частиц по размерам. ЛМС упаковка предполагает, что частицы должны быть отсортированы по размерам. У входного сечения необходимо располагать наиболее крупные частицы, монотонно уменьшая их размер с ростом z .

Для этой упаковки была решена другая оптимизационная задача, а именно определены условия (функция $F^*(a)$), при которых достигается минимум времени полной экстракции ЛМС упаковки $t_+^o = 1$, являющийся глобальным минимумом времени полной экстракции. В этом случае концентрация масла в экстрагенте на выходе из аппарата равна предельному значению в течение всего времени экстракции, экстрагент используется наиболее эффективно.

ЛМС упаковка сравнивалась с используемой на практике равномерной упаковкой, формально определяемой условием

$$\chi(z, a) = f(a), \quad dF = f(a)da.$$

Оказалось, что время t_+^f полной экстракции при равномерной упаковке является наибольшим среди всех упаковок. Для этих двух упаковок было показано, что отношение $t_+^f/t_+^o \leq 2$, а разность $t_+^f - t_+^o \leq 1$ при любом помоле.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Goto M., Roy B. C., Hirose T. *Shrinking-core leaching model for supercritical fluid extraction* // J. of Supercritical Fluids. – 1996. – V. 9. – No 2. – P. 128–133.

2. Егоров А. Г., Мазо А. Б., Максудов Р. Н. *Экстракция полидисперсного зернистого слоя молотых семян масличных культур сверхкритическим диоксидом углерода* // Теор. основы хим. технологии. – 2010. – Т. 44. – № 5. – С. 498–506.